

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND

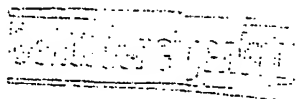


DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 3734442 A1**

⑳ Aktenzeichen: P 37 34 442.0
㉑ Anmeldetag: 12. 10. 87
㉒ Offenlegungstag: 27. 4. 89

㉓ Int. Cl. 4:
H01 J 37/317
H 01 J 37/304
// H01J 37/305,
37/317, C23C 14/32



DE 3734442 A1

㉔ Anmelder:
Kernforschungsanlage Jülich GmbH, 5170 Jülich, DE

㉕ Erfinder:
Schelten, Jakob, Dr.-Phys., 5170 Jülich, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉖ **Verfahren und Vorrichtung zur Bestrahlung großer Flächen mit Ionen**

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Einrichtung zur Bestrahlung großer Flächen mit Ionen, wobei die aus einer Ionenquelle austretenden Ionen beschleunigt, nach Ionenmassen getrennt, nachbeschleunigt und der Ionenstrahl sodann fokussiert und auf die um die Mittelachse rotierende, zu bestrahlende Fläche gerichtet wird. Erfindungsgemäß wird der Ionenstrahl durch Fokussierung derart aufgeweitet, daß die zu bestrahlende Fläche von den auseinanderlaufenden Ionen ganz erfaßt wird. Zusätzlich werden die Ionen des Randbereichs des Ionenstrahls durch einen den Strahl seitlich umfassenden Ionenreflektor reflektiert. Hierzu weist die Einrichtung als Ionenreflektor länglich ausgebildete Elektroden auf, die mit möglichst geringem Abstand mit ihrer Längsseite parallel zueinander, in senkrecht zur Mittelachse der Beschleunigungseinrichtung liegenden Ebene angeordnet sind. Jeweils benachbarte sind an ein elektrisches Potential entgegengesetzten Vorzeichens angelegt.

DE 3734442 A1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Bestrahlung großer Flächen mit Ionen, wobei die aus einer Ionenquelle austretenden Ionen mittels eines nachgeschalteten Extraktionssystems beschleunigt, mittels eines magnetischen Dipols nach Ionenmassen getrennt, in einer nachgeschalteten Einrichtung nachbeschleunigt werden und der Ionenstrahl sodann fokussiert und auf die um die Mittelachse der Beschleunigungseinrichtungen rotierende, zu bestrahlende Fläche gerichtet wird. Die Erfindung bezieht sich ferner auf eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Verfahren und Vorrichtungen dieser Art sind bekannt. Bei der Durchführung der Verfahren wird der Ionenstrahl auf die zu bestrahlende Fläche fokussiert, wobei durch entsprechend seitliche Bewegung der zu bestrahlenden, rotierenden Fläche erreicht wird, daß der in jeweils einem Punkt auf die Fläche auftretende Ionenstrahl die gesamte Fläche bestreicht. Die Stromdichte des Strahls wird dabei konstant gehalten.

Von Nachteil ist dabei, daß durch die konstante Dosis des Strahls Temperaturspitzen auf der zu bestrahlenden Fläche auftreten können, die zu Diffusion und inneren Spannungen führen. Dies kann nur durch eine relativ niedrige mittlere Arbeitstemperatur, das heißt, durch eine Begrenzung der Stromdichten nach oben vermieden werden.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren der eingangs bezeichneten Art zu schaffen, bei dem mit höheren mittleren Arbeitstemperaturen, als dies bei den bekannten Verfahren möglich ist, gearbeitet werden kann und bei dem dennoch eine homogene Bestrahlung der Fläche erzielt wird, ohne daß dabei die Gefahr des Auftretens von Temperaturspitzen besteht. Die Aufgabe der Erfindung besteht ferner darin, eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung zu schaffen.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung bei einem Verfahren der eingangs bezeichneten Art durch die im Anspruch 1 genannten Maßnahmen gelöst.

Die wesentlichen Verfahrensmaßnahmen gemäß der Erfindung bestehen dabei darin, daß einerseits durch entsprechende Fokussierung des Strahls dieser gleichzeitig die gesamte Fläche erfaßt und daß die äußeren Ionen des Strahls dabei durch seitliche Reflexion nach innen gerichtet werden, woraus eine Homogenisierung des Strahls und damit eine gleichmäßigere Bestrahlung der Fläche resultiert. Das dabei als Reflektor verwendete Linsensystem ist ein hochgradig nichtlineares Abbildungselement. Denn das den Strahl beeinflussende elektrische Feld ist maximal am Linsenrand, klingt exponentiell mit einer $1/e$ -Länge von $\lambda/(2\pi)$ ab — wobei λ die Periodenlänge des Reflektors (Zwei-Elektrodenabstand) ist — und wird verschwindend klein für achsennahe Strahlen. Demzufolge werden die Ionen in einer dünnen Randschicht abgelenkt — sie werden reflektiert —, im ganzen übrigen Bereich dagegen nicht.

Für die Reflexion der Ionen am Reflektor gibt es einen Maximalwinkel α_{\max} , für den Ionen noch reflektiert werden. Er bestimmt sich aus dem Verhältnis des alternierenden Potentials zum Ionenquellenpotential.

Eine Weiterausgestaltung des Verfahrens gemäß der Erfindung besteht daher darin, daß die Ionen derart fokussiert werden, daß die Winkel zwischen den Ionenbahnen und der Längsrichtung des Reflektors den Maximalwinkel

$$\alpha_{\max} = g \frac{1}{2} \frac{\Delta V}{U}$$

nicht überschreiten, wobei

$$g \leq 0,7,$$

$\pm \Delta V$: an den Elektroden anliegendes elektrisches Potential [Volt],

U : die elektrische Spannung [Volt], mit der die kinetische Energie eU der Ionen angegeben wird (e : Elementarladung).

Dadurch, daß die rotierende, zu bestrahlende Fläche rotationssymmetrisch zur Längsachse des Strahltransportsystems angeordnet ist, ist lediglich die Stromdichte des Strahls in radialer Richtung zu verändern, um eine noch homogenere Bestrahlungsdosis zu erhalten. Die radiale Stromverteilungsdichte kann dabei — bei unverändertem Reflektor — über die Fokussierungsstärke verändert werden. Bei starker Aufweitung des Strahls werden relativ große Anteile des Strahls reflektiert, bei geringer Aufweitung ist dagegen der reflektierte Anteil klein.

Wenngleich somit schon durch die Aufweitung des Ionenstrahls in Verbindung mit einer entsprechenden Einstellung der Fokussierung und Reflexion der äußeren Ionen eine weitgehend homogene Bestrahlung der Fläche ohne Bildung von Temperaturspitzen erzielt wird, kann doch durch entsprechende Regelung eine noch gleichmäßigere Bestrahlung der Fläche erzielt werden. Dies geschieht dadurch, daß die Stärke der Fokussierung zeitlich variiert wird, wobei jeweils diejenige Stärke der Fokussierung eingestellt wird, die den Unterschied zwischen der bereits applizierten und der gewünschten gleichmäßigen Bestrahlungsdosis nach Maßgabe von Eichwerten möglichst weitgehend vermindert.

Die Fokussierungsstärke wird dabei in einem festen Zeittakt verändert, wobei der Zeittakt kurz (z. B. eine Sekunde) gegen die insgesamt vorgesehene Bestrahlungszeit ist.

Zu Beginn der Bestrahlung werden für verschiedene Fokussierungsstärken F_1, F_2, \dots, F_n Stromverteilungen gemessen und gespeichert. Danach wird aus den gemessenen Stromverteilungen diejenige rechnerisch ermittelt, die die Diskrepanz zwischen bereits applizierter Dosis und angestrebter Dosis am nachhaltigsten zu vermindern vermag. Sie wird für den nächsten Zeittakt (die nächste Sekunde) eingestellt, und mit den während der Bestrahlung gemessenen Stromwerten wird die abgespeicherte Stromdichteverteilung aktualisiert. Während der kontinuierlich weitererfolgenden Bestrahlung ermittelt der Rechner der Regeleinrichtung bereits die nächste Einstellung.

Das Verfahren gemäß der Erfindung kann überall dort eingesetzt werden, wo großflächige Ionenbestrahlungen angestrebt werden, so beispielsweise bei der Ionenimplantation, aber auch beim Ionenmischen und beim reaktiven Ionenstrahlätzen.

Außer der Vermeidung von Temperaturspitzen auf den zu bestrahlenden Flächen sowie der Möglichkeit, die mittlere Arbeitstemperatur heraufzusetzen, ist beim Verfahren gemäß der Erfindung noch von Vorteil, daß keine schnell veränderlichen elektrischen und magnetischen Felder verwendet werden. Dadurch sind die Verhältnisse der Raumladungskompensation zeitlich konstant, wodurch Strahlinstabilitäten vermieden werden. Außerdem ist von Vorteil, daß das Verfahren ohne Einschränkung in Hoch- und Höchststromanlagen ein-

gesetzt werden kann.

Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe wird ferner durch eine Vorrichtung mit den in Anspruch 5 genannten Merkmalen gelöst. Dabei dient die entsprechend ausgelegte Linse zur Einstellung des insgesamt zu bestrahlende Fläche erfassenden Strahls und der Reflektor zu dessen Vergleichmäßigung, um eine möglichst homogene Bestrahlung der Fläche zu erzielen.

Der Reflektor kann dabei unterschiedlich ausgestaltet sein. So sind die Elektroden des Ionenreflektors bei einer Ausführungsart der Vorrichtung als Ringe ausgebildet, bei einer anderen Ausführungsart weisen die Elektroden des Ionenleiters die Form eines rechteckigen Rahmens auf, bei einer weiteren Ausführungsart sind die Elektroden des Ionenreflektors in Form einer mehrgängigen Schraube, beispielsweise in der Form einer Doppelhelix, ausgebildet.

Zur Durchführung der Verfahrensweise, bei der zur Erzielung einer gleichmäßigen Bestrahlung der Fläche die Stärke der Fokussierung zeitlich variiert wird, ist eine Vorrichtung geeignet, bei der eine Regeleinrichtung vorgesehen ist, die eine Variation der Fokussierungsstärke bewirkt, wobei in vorbestimmtem Zeittakt diejenige Fokussierungsstärke eingestellt wird, die den Unterschied zwischen der jeweils bereits applizierten und der angestrebten, gleichmäßigen Bestrahlung der Fläche nach Maßgabe von Eichwerten möglichst weitgehend vermindert.

Als äquivalente Ausführungsart zu der beschriebenen Vorrichtung ist eine Vorrichtung anzusehen, bei der die Strahlführung mittels des Reflektors nicht elektrostatisch, sondern magnetisch ausgelegt ist.

Eine Ausführungsform der Vorrichtung ist in der Zeichnung schematisch dargestellt.

Es zeigen

Fig. 1 einen Längsschnitt durch einen Teil einer Vorrichtung zur Implantation von Ionen in ein Target,

Fig. 2 einen Querschnitt durch die Vorrichtung gemäß Fig. 1 längs der Linie A/A'.

Dem in Fig. 1 dargestellten Teil der Vorrichtung sind (in der Zeichnung nicht dargestellt) eine Ionenquelle, ein der Ionenquelle nachgeschaltetes Extraktionssystem zur Vorbeschleunigung der Ionen, ein magnetischer Dipol zur Trennung der Ionen nach Ionenmassen und eine Einrichtung zur Nachbeschleunigung der Ionen vorgeschaltet. Dargestellt ist in Fig. 1 eine Einzellinse zur Fokussierung des Ionenstrahls, eine der Einzellinse nachgeschaltete Blende, ein Ionenreflektor und das zu bestrahlende Target (Fläche B). Diese Elemente befinden sich in einem Gehäuse G , das an ein in der Zeichnung ebenfalls nicht dargestelltes Pumpsystem angeschlossen ist.

Der Abstand zwischen Einzellinse und Implantations-scheibe (Target; Fläche B) bestimmt sich aus dem Durchmesser der Implantationsscheibe und den zulässigen Divergenzwinkeln der Ionenstrahlen. Bei der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung beträgt der Abstand zwischen Einzellinse und Scheibe 4 m, der Scheibendurchmesser 300 mm und der Dispersionswinkel $\pm 3^\circ$.

Wie aus Fig. 1 zu entnehmen ist, werden die einzelnen, äußeren Ionenstrahlen 3 und 4 am Ionenreflektor so reflektiert, daß sie nach innen auf die rotierende Fläche B gerichtet werden. Dadurch wird der gesamte Ionenstrahl und damit auch die Bestrahlung des Targets (Fläche B) vergleichmäßig. Durch Änderung der Fokussierungsstärke der Einzellinse im Verlauf einer Bestrahlung kann die Vergleichmäßigung der Bestrahlung

noch verstärkt werden.

Aus Fig. 2 ist zu entnehmen, daß der Ionenreflektor die Form eines rechteckigen Rahmens aufweist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestrahlung großer Flächen mit Ionen, wobei die aus einer Ionenquelle austretenden Ionen mittels eines nachgeschalteten Extraktionssystems beschleunigt, mittels eines magnetischen Dipols nach Ionenmassen getrennt, in einer nachgeschalteten Einrichtung nachbeschleunigt werden und der Ionenstrahl sodann fokussiert und auf die um die Mittelachse der Beschleunigungseinrichtungen rotierende, zu bestrahlende Fläche gerichtet wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Ionenstrahl durch Fokussierung derart aufgeweitet wird, daß die zu bestrahlende Fläche (B) von den hinter dem Fokus auseinanderlaufenden Ionen (1, 2, 3, 4) ganz erfaßt wird und daß die Ionen (3, 4) des Randbereiches des aufgeweiteten Ionenstrahls durch einen den Strahl seitlich umfassenden Ionenreflektor reflektiert werden, wobei als Ionenreflektor länglich ausgebildete Elektroden (E) verwendet werden, die mit möglichst geringem Abstand ($\lambda/2$) mit ihrer Längsseite parallel zueinander, in senkrecht zur Mittelachse der Beschleunigungseinrichtung liegenden Ebenen angeordnet sind und von denen jeweils benachbarte an ein elektrisches Potential entgegengesetzten Vorzeichens angelegt sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Ionen (1, 2, 3, 4) derart fokussiert werden, daß die Winkel zwischen den Ionenbahnen und der Längsrichtung des Reflektors den Maximalwinkel

$$\alpha_{\max} = g \frac{1}{2} \frac{\Delta V}{U}$$

nicht überschreiten, wobei

$$g \leq 0,7,$$

$\pm \Delta V$: an den Elektroden anliegendes elektrisches Potential,

U : die elektrische Spannung [Volt], mit der die kinetische Energie eU der Ionen angegeben wird (e : Elementarladung).

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzielung einer gleichmäßigen Bestrahlung der Fläche (B) die Stärke der Fokussierung (F_1, F_2, \dots, F_n) zeitlich variiert wird, wobei jeweils diejenige Stärke der Fokussierung eingestellt wird, die den Unterschied zwischen der bereits applizierten und der gewünschten gleichmäßigen Bestrahlungsdosis nach Maßgabe von Eichwerten möglichst weitgehend vermindert.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Fokussierungsstärke (F_1, F_2, \dots, F_n) in einem festen Zeittakt verändert wird, wobei der Zeittakt kurz gegen die insgesamt vorgesehene Bestrahlungszeit ist.

5. Vorrichtung zur Bestrahlung großer Flächen mit Ionen, bei der ein der Ionenquelle nachgeschaltetes Extraktionssystem zur Vorbeschleunigung der Ionen, ein magnetischer Dipol zur Trennung der Ionen nach Ionenmassen, eine Einrichtung zur Nach-

beschleunigung der Ionen, eine elektrostatische oder magnetische Linse zur Fokussierung des Ionenstrahls vorgesehen sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Linse so ausgelegt ist, daß sie durch entsprechende Fokussierung eine derartige Aufweitung des Ionenstrahls ermöglicht, daß die zu bestrahlende Fläche (B) vom aufgeweiteten Ionenstrahl (1, 2, 3, 4) ganz erfaßt wird und daß der Linse ein den Bereich des Ionenstrahls seitlich umfassenden Ionenreflektor nachgeschaltet ist, der aus länglich ausgebildeten, mit möglichst geringem Abstand mit ihrer Längsseite parallel zueinander, in senkrecht zur Mittelachse der Beschleunigungseinrichtungen liegenden Ebenen angeordneten Elektroden (E) besteht, von denen jeweils benachbarte an ein elektrisches Potential unterschiedlichen Vorzeichens angelegt sind und daß die zu bestrahlende Fläche (B) senkrecht zur Mittelachse der Beschleunigungseinrichtungen ausgerichtet und um die Mittelachse rotierbar ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (E) des Ionenreflektors als Ringe ausgebildet sind.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (E) des Ionenleiters die Form eines rechteckigen Rahmens aufweisen.

8. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (E) des Ionenreflektors in Form einer mehrgängigen Schraube, beispielsweise in der Form einer Doppelhelix, ausgebildet sind.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine Regeleinrichtung vorgesehen ist, die zur Erzielung einer gleichmäßigen Bestrahlung der Fläche (B) eine Variation der Fokussierungsstärke (F_1, F_2, \dots, F_n) bewirkt, wobei in vorbestimmtem Zeittakt diejenige Fokussierungsstärke eingestellt wird, die den Unterschied zwischen der jeweils bereits applizierten und der angestrebten, gleichmäßigen Bestrahlung der Fläche (B) nach Maßgabe von Eichwerten möglichst weitgehend vermindert.

3734442

Nummer:
Int. Cl.4:
Anmeldetag:
Offenlegungstag:

37 34 442
H 01 J 37/317
12. Oktober 1987
27. April 1989

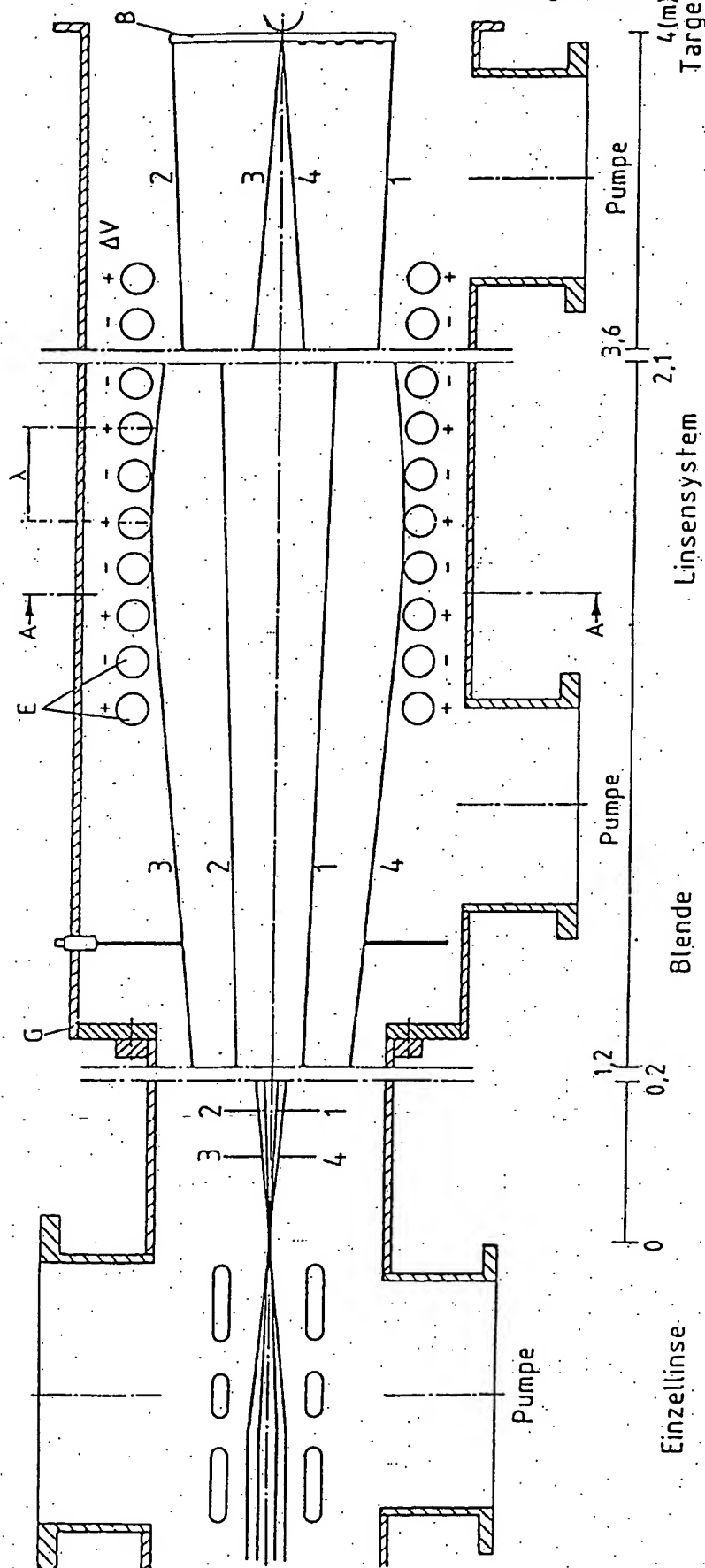


Fig. 1

BEST AVAILABLE COPY

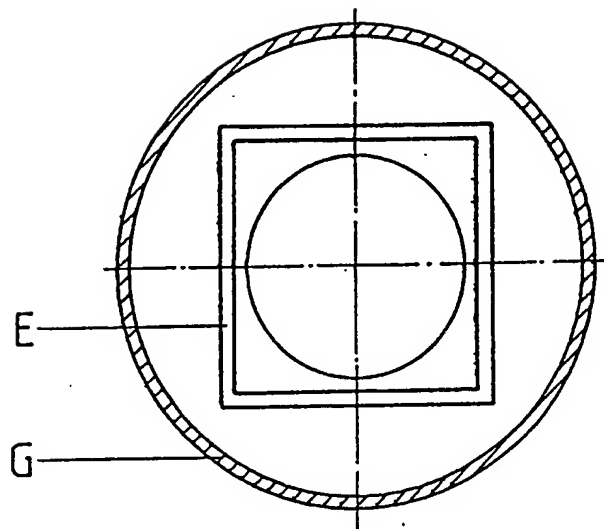
908 817/150

12.00.67

Fig. : 13 : 1

13 *

3734442



Schnitt A-A

Fig. 2

BEST AVAILABLE COPY